学习进程与 NGSS

文_李　慧　王　蓓 / 中国科协“做中学”科学教育改革实验项目教学中心，江苏汉博教育培训中心

本专题“从 NGSS 解读美国科学教育的新观点”一文中已详细分析了 NGSS 与以往课程标准的不同观点，其中第 3 条“NGSS 中的科学概念需要从幼儿园到 12 年级连贯地建构”就是与“学习进程”（Learning Progressions）密切相关的一处。

2011 年发布的《框架》是 NGSS 的基础，其中曾提出：《框架》的设计是为了帮助实现一种科学与工程教育的构想，即学生通过在校期间多年的学习，积极参与科学与工程实践、运用跨领域概念，以加深他们对这些领域核心概念的理解。在如何实现这种构想的问题上，《框架》认为（引自《框架》P10—11）：

本框架的制定，部分原因是国内正在形成的一种共识，即 K—12 科学教育需要更大的连贯性。很多时候，标准往往是一长串琐碎和缺乏联系的事实，这加剧了对美国科学课程的批评——美国的科学课程往往是“1 英里宽，1 英寸深”。这不仅使年轻人疏远科学，而且留给他们的只是知识的碎片，并不能让他们体会科学的创造性、其内在逻辑性、一致性和普遍性。

本框架努力从 3 个方面使科学教育的构想更具连贯性。

（1）本框架建立在学习是一个发展进程的概念之上；

（2）本框架着眼于有限的几个科学与工程核心概念；

（3）本框架强调科学与工程的学习需要将进行科学解释的知识与参与科学探究和工程设计所需的实践整合起来。

可见从《框架》到 NGSS 都格外关注连贯性，即学习是一个发展进程这一科学原则。《框架》制定原则中也指出“理解随着时间而发展”。其实，早在美国 1996 年科学教育标准中，已经对学习进程有所思考。其中对内容标准所分年级段或多或少已运用了学习进程的研究成果。不过在这部科学教育标准中并没有将“学习进程”放在重要的位置上加以描述和强调。NGSS 之所有强调发展、强调学习进程，与本世纪以来学习科学的理论变革密切相关。

◉ 学习进程的概念和组成

美国国家研究理事会（NRC）2001 年发表研究报告《知道学生所知道》（Knowing What Students Know：The Science and Design of Educational Assessment，National Research Council，2001），在研究认知与测量科学进展的基础上，提出“教育评价要整合学习进程的研究”，强调“评价的设计要以认知和学习模型为依据，学生相关领域的认知与学习模型要基于实证研究，课程、教学与评价应相互一致”，“一旦知道学生学习是如何随时间发展，评价就可以鉴别学生当前思维、先行理解、随即发展，从而不断促使学生的理解逐步向前发展”。

这份报告呼吁了人们对学习进程的重视，随后各类研究者开始就各领域的学习进程进行研究，包括科学概念的学习进程以及科学实践技能的学习进程，如 Claesgens 等从 2002 年开始，研究学生化学核心概念随时间变化的模式和特征，Catley K. 等对“进化”理论学习进程的追踪，Smith C.L. 等对分子原子理论学习进程的研究等。

2007 年 NRC 的报告《将科学带进学校》（Taking Science to School：Learning and

Teaching Science in Grades K—8，National Research Council，2007）中对学习进程给出了明确的定义：科学中的学习进程是基于实证的，可以检验的假设，这些假设主要是关于学生在正确的指导下，理解核心科学概念、运用核心科学概念的能力、解释和相关的科学实践怎样一直成长、变得日益成熟。这些假设描述了学生掌握核心概念可能要遵循的路径；儿童逐级深入地学习和研究某个主题的一系列步骤。这些步骤相互衔接，循序渐进，完成所有步骤需要很长时间（例如 6 ～ 8 年）。学习进程一般具有 5 个组成部分。

（1）目标：由社会期望和对学科中心概念和主题的分析而确定的学习目标或明确目标。

（2）变量：能识别随时间而发展的理解和技能的关键维度的进程变量。

（3）水平：能确定大多数儿童可能期望通过能获得所期望的能力的路径的概念 / 技能发展的重要中间阶段的成就水平或进程阶段。

（4）预期表现：学习表现是儿童的理解和技能在进程的每个阶段应是怎样的操作性定义，这使评估和活动的进展得以具体化，这将能定位学生在他们的进程中所处的位置。

（5）评测：测量学生对关键概念或实践的理解的评测能追踪学生随时间的发展进程。

◉ 《框架》中的学习进程

学习进程的思想在《框架》中表现的非常鲜明，强调在 K—12 年级学习期间以一种连贯的、符合学习进展逻辑性的方式培养学生的科学能力。《框架》为每一实践和概念开发出可能的学习进展草图。

《框架》为每个分解概念提供了年级段“终点（endpoints）”，这些终点描述了学生在 2 年级、5 年级、8 年级和 12 年级结束是分别应该达到的。同时，也表明了在 K—12 年级的范围内应该如何建构的。

《框架》还指出这些终点在各年级会沿着共同的趋势前进：在 K—2 年级，选择学生可以直接体验并研究的现象；3—5 年级则包含了学生很少有直接经验的无形的宏观物体，当介绍微观物体时，不会强调理解它们的大小，但可用实物模型和模拟等将微观物体与学生可以调查和解释的现象相联系；6—8 年级则转到对自然现象进行原则水平的解释，以及对生命进程和生物结构进行细胞水平的解释；在 9—12 年级则需要转移到亚原子和亚细胞的解释上了。同样，《框架》也对科学与工程实践的进展给出了类似的模式。这些都体现了学习进程的研究成果和思想。

◉ NGSS 中的学习进程

遵循《框架》的视野，NGSS 旨在提高 K—12 科学教育的连贯性。丰富了本文开始时提到的 3 点：

首先，它建立在学习是一个发展的学习进程这一概念的基础上。这样设计来帮助孩子们从他们看到周围世界的好奇心和他们最初关于这个世界是怎样运转的概念开始，不断地建立和修改自己的知识和能力，我们的目标是引导他们的知识向着更科学为基础的和连贯的自然科学和工程技术，同时可以应用他们追求的方法和结果。

其次，该框架着重于学科内和学科间数量有限的科学和工程的核心概念。该委员会做出了这个选择，以避免浅显得覆盖大量的主题，把更多的时间留给教师和学生更深入探索每个概念。减少要掌握的细节的总数，是为了给学生更多的时间参与科学调查和论证，更深度的理解现有的核心概念。划定关于每个核心概念在每个年级段要学什么，可以帮助分清什么是最重要需要花时间的，避免学习一些没有概念基础的细节扩充。

第三，框架强调学习科学和工程技术包括了科学探究知识和从事科学探究和工程设计所需的实践知识的综合。因此，该框架旨在展示在 K—12 科学教育中设计教学活动时是怎样使知识和实践交织的。

◉ 学科核心概念的进程

为了更简略地看到学习进程所描述的进展，NGSS 的附录 E 给出了各个学科核心概念的进程，即对每个年级段的内容进行了总结。

表 1 以地球空间科学的学习进程为例，不难发现一些学科核心概念的分解概念有较大的

表 1　地球空间科学学习进程

学生思维的日益复杂 →

	K—2	3—5	6—8	9—12
ESS1.A　宇宙和其中的恒星	能观察、描述并预测天空中太阳、月亮和星星的运动规律	恒星距离地球的距离、大小变化很大，这可以解释他们的相对亮度	太阳系是银河系中的一部分，而银河系则是宇宙中众多星系中的一个	对恒星的光谱和亮度的研究可用于确定恒星的组成元素、进程以及生命周期。太阳活动通过核聚变产生元素，短期太阳变化引起空间天气和太阳辐射的变化，板大地影响人类。技术的发展为天文数据提供了大爆炸理论的实证证据
ESS1.B　地球和太阳系		地球围绕太阳运行的轨道，月球围绕地球运行的轨道，以及地球以南北两极为轴的自转都造成了明显的规律	太阳系通过万有引力将包含许多物体聚在一起。太阳系模型解释和预测日食，月相和季节	开普勒定律描述了围绕太阳公转的天体运动的共同特征，天文和空间探测器的观测为解释太阳系的形成提供了证据。地球运行轨道的形状与地球自转轴的倾斜的变化，会引起气候变化，如冰川期
ESS1.C　地球的历史	地球上的一些事件发生得很快；还有些事件发生得很慢	地球上一些特定的特征能够用来确定地质事件的发生顺序	岩层和化石记录分析可以为地球历史中的重大事件提供了一个相对的时间	从构造学和其他地质过程得出的岩石记录像太阳系的物质一样能够提供地球早期历史和主要地质构造相对年龄的证据
ESS2.A　地球上的物质和圈层系统	风和水可以改变陆地的形状	4 大地球圈层系统相互作用。降雨有助于塑造地形并影响某一地区发现的生物体的种类。水、冰、风、生物体和重力将岩石、土壤和沉积物破坏为更小的颗粒并使其迁移	地球圈层系统内或圈层之间能量流动和物质循环，包括来自于太阳和地球灼热的内部的主要能量来源。板块运动是这些过程的结果之一	反馈效应在地球的圈层系统内和圈层系统间存在。放射性衰变和形成于地球内部的余热导致了地幔热对流
ESS2.B　板块构造学说和圈层系统的大规模相互作用	地图可以展示它们的位置。人们可以在地图上绘制出任何地区陆地和水域的形状与种类	地球的物理特征是有模式的存在的，像地震或者火山。地图有助于定位这些特征或者确定这些事件的模式	板块构造学是解释地表岩石运动历史和现状的统一理论，地图用来展示板块运动的证据	
ESS2.C　水在地球表面过程中的作用	地球上不同类型的地方都有水，水有不同的形态	地球上大部分水都在海洋。大多数淡水资源存在冰川或地下	水由太阳光和重力推动在陆地、海洋和大气之间循环。海水密度的多样化推动了洋流的互连。水运动导致风化和侵蚀，不断变化的景观特色 复杂的相互作用包括海洋的作用决定了当地的天气模式和气候影响	这颗行星的动力极大得受水独特的化学和物理性质影响
ESS2.D　天气和气候	天气是在特定区域特定时间的阳光、风、雪或雨，以及温度的组合。人们一直记录天气模式	气候是通过不同刻度和变量描述典型的天气情况模式。可以对历史上的天气模式进行分析		来自太阳辐射的作用及其与大气，海洋和陆地相互作用是全球气候系统的基础 全球气候模型用来预测将来的变化，包括人类的行为和自然因素影响带来的变化
ESS2.E　生物地质学	植物和动物能够改变他们的生存环境	生物能够影响他们环境的物理特征	内容见 LS4.A 和 LS4.D	地球生物圈和其他圈层系统之间许多动态的微妙的反馈，使地球的表面和生活在它上面的生命在不断地协同进化
ESS3.A　自然资源	生物体需要水、空气和陆地上的资源，它们更趋向于生活在具备他们生存所需条件的地区。人类几乎所有活动都需要用到自然资源	人类使用的所有能源和燃料都来自于自然资源，并且人类对这些资源的使用影响着环境。有些资源是可再生资源，而有些资源却是不可再生资源	人类依赖于地球的陆地、海洋、大气圈和生物圈，以从中获取多种资源。许多资源都是有限的，或不可再生的。由于过去的地质过程这些资源在地球上的分布并不均匀	资源的可利用性对人类社会的发展具有导向作用。自然资源的使用使成本、风险和收益相关
ESS3.B　自然灾害	在特定地区某些种类的恶劣天气更容易发生。气象预报使该地区的人们可以对这些灾害做好准备	各种各样的灾害起因于自然过程。人类无法消除自然灾害，但可以采取措施减少它们的影响	绘制某一地区的自然灾害历史图和理解相关地质作用力	自然灾害和其他地质灾害决定了人类历史地方性的、区域性的或全球性的进程
ESS3.C　人类对地球圈层的影响	人类的一些活动会影响他们周围的世界。但是他们也可以选择减少影响	人类日常生活中的活动已经对土地、植被、溪流、海洋、空气甚至太空造成了重大的影响。学生描述社会保护地球资源和环境做的事情	人类活动改变了生物圈，有时甚至损害了它，虽然对环境的改变可能对不同生物的影响不同。人类活动和技术可以设计减少人们对地球的影响	人类社会和支撑它的生物多样性的可持续性需要对自然资源实施可靠管理，包括技术和人口的发展
ESS3.D　全球气候变化	尚没有相关数据	如果全球平均温度持续上升的话，人类和其他生物体的生命将会受到各种影响	人类的活动影响全球变暖。减少影响全球变暖的决定取决于对气候科学、工程能力和社会动态的理解	全球气候模型用来预测持续被证明的变化，尽管关于全球气候系统的发现是持续不断需要的

表 2　“提出问题和明确要解决的困难”的学习进程

K—2 年级	3—5 年级	6—8 年级	9—12 年级
K—2 年级阶段提出问题和明确要解决的困难基于先前的经验，然后发展为简单的可以测试的描述性问题 ● 提出问题基于对自然界和／或设计世界的观察，通过观察能发现更多的信息 ● 提出和／或界定可以通过调查回答的问题 ● 确定一个简单的可以通过发明一个新的或改进的物体或工具解决的问题	3—5 年级阶段提出问题和明确要解决的困难基于 K—2 年级的经验，进而明确定型关系 ● 提出关于如果一个变量发生改变会发生什么的问题 ● 确定科学（可测试）和非科学（不可测试）问题 ● 提出可以进行调查的问题，根据原因和影响关系的形式预测合理的结果 ● 使用前概念描述可以解决的问题 ● 确定一个简单的设计问题，这个问题能够通过发明物体、工具、流程或系统来解决，包括一些成功的标准和材料、时间或花费的限制	6—8 年级阶段提出问题和明确要解决的困难基于 K—5 年级的经验，进而明确变量之间的关系，阐明论据和模型 ● 提出问题 ● 产生于对现象、模型或者意外结果的仔细观察，阐述和／或寻找更多的信息 ● 确定和／或阐述证据和／或争论的假设 ● 确定自变量和因变量的关系，以及模型之间的关系 ● 阐明和／或精炼一个模型、解释或一个工程学问题 ● 要有足够和恰当的以观察或实验为依据的证据来回答 ● 能够在教室、户外环境、博物馆和其他公共场所范围内使用已有资源进行调查，在合适的时候，形成基于观察和科学原理的假设 ● 对论据的前提条件或数据的解释产生质疑 ● 确定一个设计问题，这个问题能够通过发明物体、工具、流程或系统来解决，包括多个准则和限制条件，科学知识可能会限制可能的解决方案	9—12 年级阶段提出问题和明确要解决的困难基于 K—8 年级的经验，进而精确阐述、精炼和评估以经验为依据的可测试的问题，以及使用模型和模拟确定设计问题 ● 提出问题 ● 产生于对现象、模型或者意外结果的仔细观察，阐述和／或寻找更多的信息 ● 产生于对模型或一个理论的仔细审查，阐述和／或寻找更多的信息和联系 ● 确定自变量和因变量之间的数量关系 ● 阐明和精炼一个模型、一个解释或一个工程学问题 ● 评估一个问题，确定这个问题是否是可以测试的和与主题相关的 ● 提出能够在学校实验室、研究机构或场所（例如，户外环境）范围内使用已有资源进行调查的问题，在合适的时候，形成基于一个模型或理论的假设 ● 提出和／或评估问题，包括对论据的前提条件、数据解释或一个设计的恰当性的质疑 ● 确定一个设计问题，涉及流程或系统发展的相互作用、准则和包括社会、技术和／或环境问题在内的限制条件

重叠。读者可以注意到在那些概念中并不总是进行清晰的划分，所以许多学习进程不止在一个分概念中分解。这些表格的目的是简短得描述 K—12 年级每个年级段各学科的核心概念。因此，这一学习进程仅作为参考。

◉ 科学与工程实践的进程

除了对学科核心概念进程的关注，NGSS 的附录 F 中还给出了科学与工程实践的进程，以指导教学如何逐步帮助学生获得科学与工程实践能力。表 2 以科学与工程实践中“提出为和明确要解决的困难”为例，总结了学生在每个年级段结束前应该能够达到的能力。

◉ 跨领域概念的学习进程

对于更为抽象的跨领域概念，从理论和实践两方面而言都更需要经过一段时间的学习来获得。NGSS 的附录 G 中对所提及的 7 条跨领域概念注意给出学习进程，以说明如何在 K—12 年级期间逐步建构对跨领域概念的理解。表 3 以“原因与结果”为例说明跨领域概念的学习进程。

综上所述，《框架》和 NGSS 都把发展作为衡量教育成败的标准，而学习进程则是度量发展的有效策略。

学习进程作为使科学教育标准从决策导向到实证导向，联结课程标准、教学与评价，促进一致性的最具潜力的工具，在 NGSS 制定过程中有一次得到了发展。但学习进程的研究，尤其是具体内容的细致分析与实证研究仍然是科学教育研究中的重点和难点问题，NGSS 的发布，将使学习进程的研究与教学实践结合地越来越紧密，更好的体现学习进程研究的教育意义与价值。

表 3　“原因与结果”的学习进程

贯穿年级的进程	NGSS 中的预期成果
K—2 年级期间，学生学习事件都有产生可观察模式的原因。学生通过设计简单的实验收集证据来支持或反驳他们自己对原因的想法	1—PS4—3
3—5 年级期间，学生按照通常的方法识别和测试因果关系，并运用这些因果关系解释变化。他们将理解事件的发生会伴随有常规的可能性或不意味着因果关系的可能性	4—ESS2—1
6—8 年级期间，学生可以根据原因关系或关联性分类，并且认识到关系并不必然是因果关系。他们可以运用因果关系预测自然现象或设计系统。他们也理解一个自然现象有多个原因，且一些系统中的因果关系只会被描述为使用概率	MS—PS1—4
在 9—12 年级期间……	HS—LS3—2

参考文献

[1] 韦斯林、贾远娥，美国科学教育研究新动向及启示，课程 · 教材 · 教法，2010.10

[2] NRC，A Framework for K-12 Science Education：Practices，Crosscutting Concepts，and Core Ideas，2011

[3] NRC，Taking Science to School：Learning and Teaching Science in Grades K-8，2007

[4] NRC，Knowing What Students Know：the Science and Design of Educational Assessment，2001